

УДК 616.1 : 072

Л. Л. Фрумин, М. Б. Штарк

(Новосибирск)

О ФАЗОВОМ ПОРТРЕТЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

Обсуждаются возможности нового метода отображения электрокардиографической (ЭКГ) информации — метода фазового портрета — для диагностики нарушений сердечного ритма. На примере симптомов трепетания предсердий и желудочков сердца и пароксизмальной желудочковой тахикардии показано, что для широкого класса нарушений сердечного ритма метод фазовых траекторий может служить важным диагностическим приемом, позволяющим проводить эффективную ЭКГ-диагностику.

Настоящая работа посвящена новому методу отображения электрокардиографической информации — методу фазовых траекторий. В основе этого метода используется известный в физике и прикладной математике способ отображения фазового пространства для периодического процесса — фазовый портрет.

В качестве примера можно указать фазовый портрет гармонического осциллятора, который представляет собой эллипс, при этом по оси абсцисс отложена координата осциллятора, а по оси ординат — ее производная по времени или импульс. Удобство фазового представления периодического процесса состоит главным образом в финитности и повторяемости траектории процесса: фазовый портрет занимает конечную область на плоскости и на каждом периоде проходит через одни и те же точки фазовой плоскости.

Похожее поведение демонстрируют и квазипериодические сигналы. Фазовый портрет квазипериодического сигнала содержит хаотическую компоненту, на фоне которой выделяется основной период, напоминающий траекторию динамической системы вблизи странного аттрактора. Такая картина характерна для многих физиологических параметров человека: электроэнцефалограммы, дыхательного ритма, ЭКГ-сигнала и т. д. В последние годы появилось большое число работ [1—3], посвященных исследованию такого рода аттракторов, часто возникающих в природе, их фрактальной структуры. До настоящего времени эти исследования носили в основном теоретический характер. Так, в [2] фазовый портрет ЭКГ-сигнала привлекается лишь для иллюстрации наличия хаотической компоненты в поведении физиологических процессов.

В настоящей работе обсуждаются возможности практического приложения фазового портрета для расширения возможностей медицинской диагностики на примере электрокардиограммы.

Обычно в качестве фазовой плоскости для сигнала используется по одной из осей производная сигнала по времени, а по другой — сам сигнал в тот же момент времени. Другой способ изображения фазового портрета носит название метода карт задержки и использует вместо производной сам сигнал, но сдвинутый (задержанный) во времени. Если эта временная задержка не слишком велика по сравнению с характерным периодом изменения сигнала, можно показать, что карта задержки будет почти совпадать с традиционным фазовым портретом, поэтому мы сохраним для карт задержки название фазового портрета.

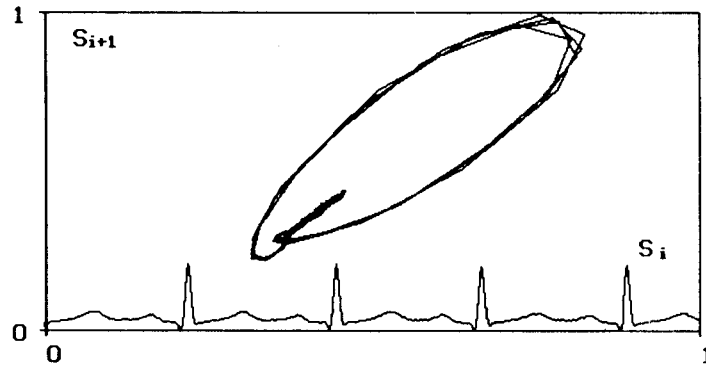


Рис. 1. «Нормальная» электрокардиограмма (внизу) и ее фазовый портрет, $m = 1$

Пусть имеется дискретная временная последовательность N экспериментальных точек сигнала S_i , $i = 1, \dots, N$. В простейшем случае при построении карты задержки можно откладывать по оси ординат величину S_{i+1} , а по оси абсцисс — S_i . В более общем случае можно ввести сдвиг m и рассматривать зависимость S_{i+m} от значения S_i .

Технически данный способ представления информации реализуется весьма просто: достаточно включить задержку сигнала на заданное число тактов.

Обратимся теперь к результатам приложения фазового портрета. На рис. 1—3 представлены примеры фазовых портретов ЭКГ-сигнала для $m = 1, 2, 3$ соответственно. Заметим, что для подавления высокочастотных шумов проводилась фильтрация в спектральной области с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье.

Представленные карты задержки сохраняют низкочастотную шумовую компоненту, которую можно связать с влиянием дыхания. При этом большая петля на фазовом портрете соответствует R -зубцу обычной электрокардиограммы, а малая петля внутри большой — наложению P - и T -зубцов. Отметим наличие многих общих черт карты задержки и известного метода вектор-электрокардиографии [4].

Фазовое представление сигнала особенно удобно для длительных временных выборок ЭКГ-сигнала, поскольку позволяет наблюдать редкие спонтанные изменения кардиограммы.

Следующий вопрос, возникающий при использовании фазового портрета для ЭКГ-сигнала, связан с возможностью распознавания функциональных нарушений и симптомов по фазовому портрету. Проверка пригодности этого подхода для выявления известных симптомов различных патологий показала, что имеется ряд патологий, которые хорошо диагностируются с помощью фазо-

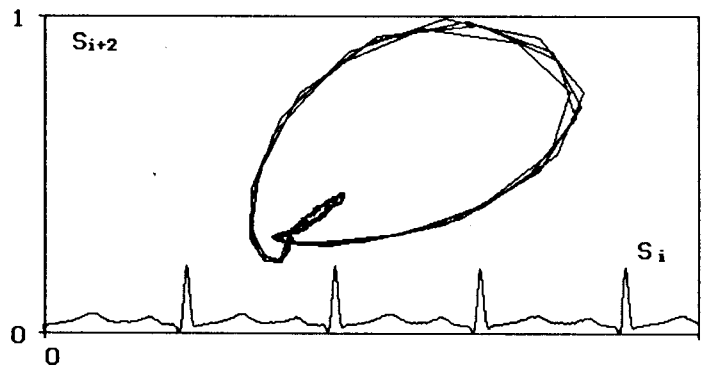


Рис. 2. Фазовый портрет ЭКГ-сигнала для $m = 2$

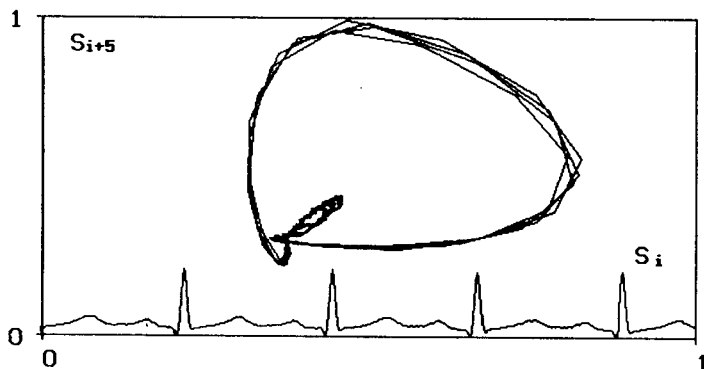


Рис. 3. Фазовый портрет ЭКГ-сигнала для $m = 5$

вого портрета, но есть также симптомы, для которых, по-видимому, фазовый портрет мало пригоден, например миграция ритма.

В дальнейшем нас будут интересовать в основном те симптомы, которые легко различимы на фазовом портрете. Это в первую очередь трепетание предсердий и желудочков сердца, пароксизмальная желудочковая тахикардия.

При апробации описываемого подхода в нашем распоряжении имелся лишь образец «нормальной» электрокардиограммы, без нарушений сердечного ритма. Поэтому на основе данных, приведенных в атласе [5], нами было проведено численное моделирование ЭКГ-сигналов для различных симптомов нарушения сердечного ритма. На рис. 4 представлен фазовый портрет ЭКГ-сигнала для случая симптома трепетания предсердий, рис. 5 иллюстрирует фазовый портрет симптома пароксизмальной желудочковой тахикардии, наконец, рис. 6 — симптома трепетания желудочков сердца. Сравнение представленных фазовых портретов с «нормальным», приведенным на рис. 1, служит хорошей иллюстрацией пригодности метода фазового портрета для ЭКГ-диагностики.

Рассмотренные варианты использования фазового портрета для ЭКГ-диагностики отнюдь не ограничены перечисленными случаями. Так, нет сомнений, что предложенный способ может быть с успехом применен для реципрокной, узловой и предсердной экстрасистол, электрической альтернации, желудочковой парасистолы и ряда других.

Особый интерес применение фазового портрета представляет для длительного ЭКГ-мониторинга, когда длина традиционных ЭКГ-записей может превысить многие десятки метров. При этом фазовый портрет может составить один из вариантов статистической обработки ЭКГ-сигнала. В целом, безуслов-

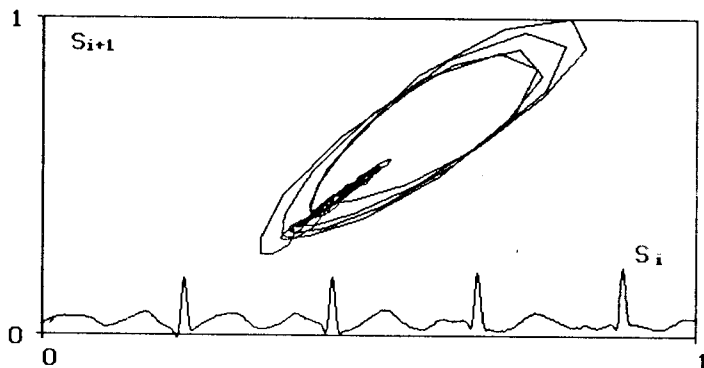


Рис. 4. Электрокардиограмма и ее фазовый портрет для симптома трепетания предсердий, $m = 1$

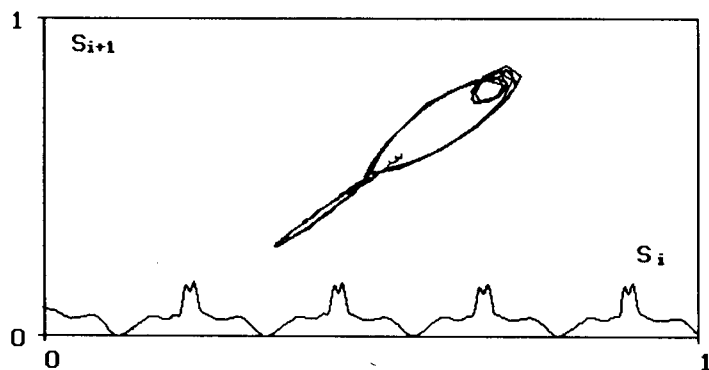


Рис. 5. Электрокардиограмма и ее фазовый портрет для симптома пароксизмальной желудочковой тахикардии, $m = 1$

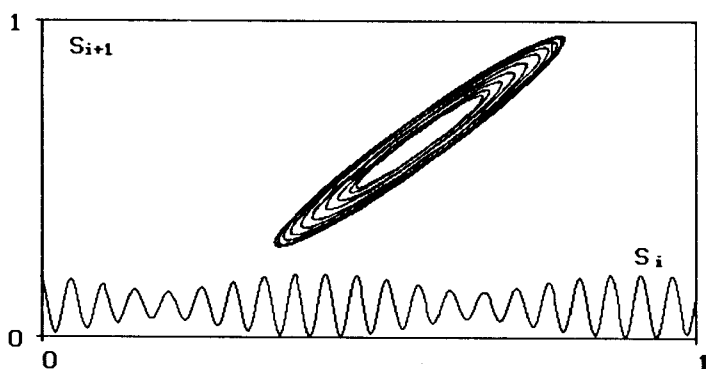


Рис. 6. Электрокардиограмма и ее фазовый портрет для симптома трепетания желудочков сердца, $m = 1$

но, применение фазового портрета может представлять значительный интерес для практики стационаров и реабилитационных центров, исследовательских медицинских лабораторий.

Авторы благодарят Г. Л. Коткина, предложившего тему данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. West B. // J. Mod. Phys. B.—1990.—4, N 10.—P. 1629.
2. Гольдберг Э., Ригни Д., Вест Б. // В мире науки.—1990.—№ 4.
3. Ланда П. С., Розенблюм М. Г. // Природа.—1992.—№ 8.
4. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: Справочник /Под ред. Т. С. Виноградовой.—М.: Медицина, 1986.
5. Кушаковский М. С., Журавлева Н. Б. Аритмии и блокады сердца // Атлас электрокардиограмм.—Л.: Медицина, 1981.

Поступила в редакцию 14 декабря 1992 г.